

マイクロマシン

MICROMACHINE

- 巻頭言／2
- 研究室紹介／3
- MMCの事業活動紹介／5
- 賛助会員の活動紹介／13
- 海外だより／15
- トピックス／16
- 講座「マイクロマシン技術関連専門用語」(第3回)／17
- お知らせ／20

MICROMACHINE CENTER



財団法人 マイクロマシンセンター

No. 29

バイオメディカル・マイクロマシン



東京女子医科大学名誉教授
桜井 靖久

Bio-medical Engineering (BME) には理工学の知恵を医学・医療に応用する面と、生物の知恵を工学に応用する面の二つがある。ここで、生体系の階層的構築と人工的装置のそれとを比べてみると図のようになる。この図からわかるように、生体系の代表的な特長は次のような点である。

①分子器械であること。DNA、たんぱく、酵素、多糖類、脂肪などの生体構成分子は、それぞれが特異的機能を持った機能性分子であり、情報、センサー、効果器、アクチュエーター等、多種多様な役割を分子それ自体が一つの器械として分担している。

②細胞装置であること。ヒトのからだは60兆個の細胞からできているというが、数十ミクロンの細胞一個一個は、それ自体で代謝し、機能し、外界に適応し、さらに増殖さえもする自立性をもっている。マイクロマシンについてのさまざまな設計原理の手本がここにあるように思われる。

③情報内在系であること。生体系に基本的に必要な情報は外から与えられるものではなくて、系の中にビルトインされており、その情報が必要に応じて発現されて生命が継続されるのである。

④バイオホロニクス系であること。数十兆個、200種類以上のさまざまなタイプの細胞が、生命体の維持という一つの目標に向けて統合されて協同作業を続けているのが生体系である。これらの細胞たちは、けっしてよそからの指令や、一つの最高権力者（大統領細胞）の指揮に従って動いているのではなくて、それぞれが一見バラバラに働いていても、全体としては調和した自律分散制御系として統合的に機能している。それをバイオホロニクスといい、道元は正法眼蔵の中で「生は全機の現れなり」と称している。マイクロマシンの多数並列ユニット制御の際の一つの手本と考えられよう。

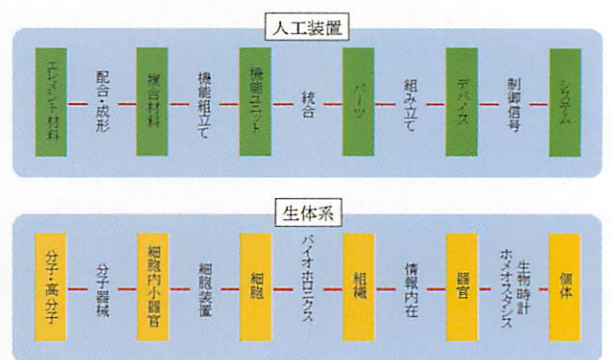
⑤ホメオスタシス（動的恒常性）。生命とは、まさにエントロピー零ともいえる高い秩序性を自己形成し、かつそれを維持する能力であるともいえよう。その秩序維持は静的なものではなくて、新陳代謝を伴う動的なものである。損傷を受けた時でさえも自己修復作用を発揮して、構造的機能的秩序を回復しようとする。ホメオスタシスは元来は体温、血圧、ホルモン等々の生理的状態の動的均衡を意味する言葉であるが、広義に考えればエネルギーや物質の絶

えざる流れの中で、機能、構造、形態などの秩序が安定に維持されている状態ということもできよう。

⑥クロック内在。時間生理学とか概日周期（Circadian rhythm）という言葉が示すように、生体系には時計が内在されていて、おもに24時間を周期とする可逆的繰り返し現象と、老化 aging という不可逆現象のために時を刻んでいる。ヒトの赤血球の寿命は平均120日だが、それを補うために、血液幹細胞は毎秒200万個以上のスピードで赤血球を産生している。この例でみるように、生体系では多くのユニット間の作業タイミングを合わせる標準時計が必要なのである。生命の流れは無常の時の流れのまにまにあるが、時宜をはかることが生命の知恵には不可欠なのであろう。

さて、BMEにおいて真に役立つ技術を開発するためには、B・M・E間の密接な連携、融合、イメージの一致がなければならない。このたび、通産省、NEDOからの委託により、私たちは日本におけるBME技術、装置の実効ある開発・評価を実施するために「ME連携ラボシステム」を構築することになった。このような場におけるB・M・Eの整合性ある融合が、21世紀のBME、そしてBMEマイクロマシンを生む母体となることを期待するのである。

生体系の構築と人工装置の構造



超分子が開く次世代マイクロマシンの世界

北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科 教授 由井 伸彦

はじめに

北陸先端科学技術大学院大学は、21世紀に向けて新しい研究教育に対応する大学院のみの国立大学として、1990年に設立されたばかりです。中でも材料科学研究科は、物理・化学・生物の3領域を跨る学際的領域を研究対象として7年前に発足しました。由井研究室は、研究科発足と同時にスタートを切り、薬物送達システムやケモメカニカルシステムを目指した超分子の設計を主に研究しています。これは、生体の仕組みや働きをヒントにしなが、新しい分子構築によってのみ可能となる新しい機能性高分子を設計すると云う研究室のグランドコンセプトに基づいています。

超分子って何？

超分子とは、これまでの直鎖状高分子とは異なり、非共有結合的な分子間相互作用により構成されている分子の集合体であり、全く新しい機能や物性を有する次世代の材料として期待されています。代表的な高分子系超分子としてポリロタキサンがあり、多くの環状分子空洞部に直鎖状高分子が貫通している構造が特徴です。緒方らが、環状分子とモノマーとから調製した包接錯体の重縮合によってシクロデキストリンを用いた擬ポリロタキサンを初めて合成して以来、特に近年では、例えば原田らにより α -シクロデキストリン(α -CD)とポリエチレングリコール(PEG)とからなる擬ポリロタキサン形成や両末端に嵩高い置換基を導入したポリロタキサン合成が精力的に研究されてきています。しかし、いずれの研究においても、その特徴的な構造を構成成分間の分子認識を利用して設計することのみに注目しており、その構造を積極的に利用した機能設計はこれまで行われていませんでした。

本研究室では、従来からの構造をベースとした生体内分解性薬物キャリアーに宿命的な機能や問題点と一線を画した新機能を実現すべく、研究室設立当初より超分子構造を有する新しい生体内分解性高分子を研究しています。更には、分子駆動素子として生体の筋肉の駆動機構に類似な動きをする刺激応答型ポリロタキサンの設計を精力的に展開しています。こうした分子設計は、新しい高分子系マイクロ

マシンの基礎研究として大変重要です。以下には、生体内分解性ポリロタキサンによる薬物キャリアー設計と刺激応答型ポリロタキサンによるケモメカニカル組織体の設計を中心にして、研究室で推進している超分子の研究を紹介していきます。

生体内分解性ポリロタキサンの薬物キャリアーとしての可能性

本研究室では、末端の嵩高い分子として酵素分解性基を導入した生体内分解性ポリロタキサンを設計しています。すなわち、多数の α -CD空洞部を貫通したPEG鎖の両末端に酵素分解性のペプチド結合を介してL-フェニルアラニン(L-Phe)を導入しました。得られたポリロタキサン中の α -CDに種々の化学修飾を施し、例えば α -CDのヒドロキシプロピル(HP)化を行なうことによって水溶性を著しく向上させることが出来ます。こうしたポリロタキサンでは、用いたPEG分子量(2000-4000)に応じて α -CDがおおよそ20-40個程度貫通されており、末端ペプチド基の分解後に α -CDがPEG鎖からすみやかに脱離する特徴を有しています[1]。

酵素により分解する高分子の設計は、組織・細胞に特異的に発現する酵素や疾患由来の酵素による分解が可能であると考えられます。しかしながら、高分子主鎖にオリゴペプチドスパーサーを介して薬物を導入した従来型の高分子化医薬は、オリゴペプチドスパーサー間の分子会合による酵素分解性の低下が指摘されています。このように、高分子側鎖に酵素分解性基を介して薬物を導入した高分子医薬は、その構造的宿命に原因する問題をかかえていると云えます。

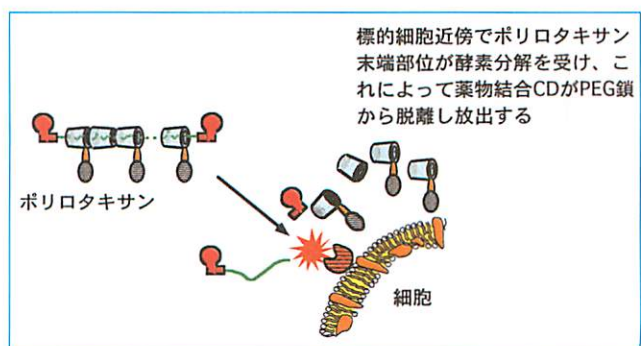


図1 生体内分解性ポリロタキサンを用いた薬物キャリアー

本研究室の生体内分解性ポリロタキサンは、超分子構造に裏付けられた特徴を有しており、HP- α -CDと生体内分解性基との間には何ら結合は存在しませんが、末端基の酵素分解によってHP- α -CD放出が規定されています。従って、このHP- α -CDに薬物を導入すれば、末端基の分解に伴う超分子の解離を利用して薬物を放出することが出来るわけです（図1）。

薬物が結合した生体内分解性ポリロタキサンの生理環境下での静的および動的な光散乱測定から、ポリロタキサンが異方性を持った形態で分子間会合体を形成していることを明らかにしています。こうしたポリロタキサンは、会合数に依らず完全な酵素分解性を示すことを既に明らかにしており、注目されています。このことは、従来からの高分子医薬が会合に依存して酵素分解性が低下することと対照的であり、薬物キャリアーとしての生体内分解性ポリロタキサンの特徴であると云えます。

刺激応答型ポリロタキサンによる駆動素子の可能性

ポリロタキサンにおいて、もしも環状分子を線状高分子鎖に沿って移動させることができれば、従来とは全く異なる機構の刺激応答型高分子を設計することができます。これは、従来からの刺激応答型高分子の変形機構とは全く異なり、応答速度やエネルギー変換効率などの面で優れた駆動素子を設計出来る可能性が出てくるわけです。そこで本研究室では、 β シクロデキストリン（ β -CD）空洞部を貫通しているPEGとポリプロピレングリコール（PPG）とからなるABA型ブロック共重合体の両末端

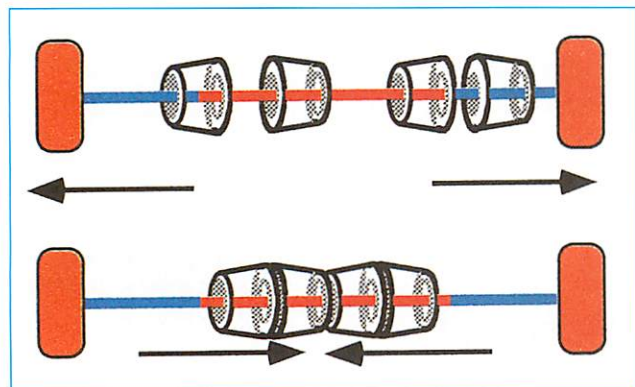


図2 β -CDの高分子鎖に沿った可逆的な移動機能

に嵩高い置換基を導入したポリロタキサンを合成し、その温度に応答した β -CDの移動を解析しています。これまでの解析によって、低温（10°C）では β -CD

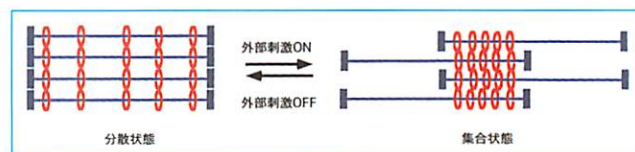


図3 刺激応答型ポリロタキサンを利用したケモメカニカル組織体

がブロック共重合体全体に広がっているのに対して、高温（50°C）では β -CDが中央のPPG部分に集合していることがわかっています（図2）[2]。こうしたポリロタキサンにおける環状分子の刺激に応答した移動を基本原理とした新しい駆動機構は、生体の筋肉組織に見られるアクチン-ミオシン間での滑り運動にも類似しています。現在、刺激応答型ポリロタキサンの組織化による駆動素子の設計を推進していますが（図3）、超分子によるマイクロマシン創成も可能になる日が近いと云えます。

おわりに

以上、超分子をベースにした機能性高分子の設計を通じて、高分子系マイクロマシン設計の可能性について紹介してきました。いずれの概念も世界に先駆けて推進している研究テーマであり、今後の研究展開を通じて超分子マイクロマシン実現に貢献していきたいと考えています。

参考文献

1. T. Ooya, N. Yui, *Crit. Rev. Ther. Drug Carr. Syst.* 16, 289 (1999).
2. H. Fujita, T. Ooya, N. Yui, *Macromolecules* 32,2534 (1999).

平成10年度「マイクロマシンの基礎技術の研究」その1

(財)マイクロマシンセンターでは多様なマイクロシステムの構築に必要な理工学を始めとする技術シーズの探索によって基礎技術の強化を図るために学、官、産共同で平成4年度から種々の技術シーズを調査テーマとして取り上げてきました。平成10年度には9テーマについて調査研究を行ってきましたが、今回5テーマの報告要旨をここに掲載いたします。

高精度マイクロ加工技術と微小機構の運動計測法の調査研究

東京都立大学大学院 工学研究科 助教授 諸貫 信行

マイクロマシンあるいはマイクロ機構を実用的なものにするためには、(1)構成部品を品質良く加工できなければならない、(2)設計に必要な材料物性値を正確に評価し、さらに、(3)微小機構の三次元運動を正確に測定できなければならない。そこで、これら3点についての調査研究を行った。

加工プロセスについては、まずマイクロ加工固有の問題を明らかにした。すなわち、一般的に加工単位が小さくなればなるほど単位体積を除去するのに必要なエネルギーは大きくなる。このため、マイクロ加工では切削のような機械的な応力集中による材料破壊は難しくなってくる。さらにマクロな加工では等方的・均質と捉えることができた被削材も、異方的・不均質なものとなり、加工現象を益々複雑なものにしている。所望の加工を行うためには、まず被加工物の特性に対する理解を深め、次いで、種々の加工法の中から適切なものを選択するか、あるいは組み合わせを検討するという考え方が必要になろう。

図1は各種加工法の加工寸法と加工分解能のおおまかな関係を示す。横軸の「加工寸法」とは図中に示すように加工方向に測った長さであり、各加工法の一般的な条件で加工可能な範囲(長さ)を示す。ただし、レーザ加工と原子操作については切断的操作が多いため、材料に対して横方向の長さとしている。また、縦軸は総合加工精度を示し、複数回の加工を行ったときのばらつき等を含めて実現可能な精度を示す。図の中で右下の方に位置する加工法ほど、高い加工分解能で広い範囲の加工が可能であることを示す。各加工方法の特性を範囲をもって示した理由は、加工装置やプロセス条件などに依存して分解能が変わってしまうことを考慮したためである。また、各加工法について十分な公表データがなく一部憶測が含まれるため、解釈には注意を要する。

ここで相対精度比とは、同図縦軸の総合加工精度の最小値と、横軸の加工寸法の最大値の比から求められる。切削や研削などの機械加工法ではmオーダーまでの広い加工範囲で、1 μ m程度の精度が確保でき、相対精度比で10⁻⁶程度が実現されている。しかし、

図に示す他の微細加工法では10⁻³~10⁻⁴程度に限られるものもある。これら加工特性を十分に把握し、適切な加工法の組み合わせを用いることがマイクロ部品の安定的な製作、ひいてはマイクロマシンの成功へとつながると考えられる。なお、材料組織の影響を考えると、多結晶材料は不連続なものと捉えられ、単結晶の規則性を積極的に利用するか、あるいは等方、均質な非晶質を用いるほうが望ましいと考えられる。

次いで、マイクロ部品の設計に欠かすことのできない物性値の扱いについて、その問題点を整理するとともに最近の評価方法について調査を行った。

さらに、マイクロ部品の三次元運動測定法について調査と提案を行った。顕微鏡と高速度ビデオカメラを組み合わせ対象の動きを観察し、その運動を解析する手法について述べた。微小物体の観察像は一般的にコントラストが弱く、また輪郭が明確でないため、適切な画像処理が必要であること、適切なフィルタ処理により改善ができることを示した。

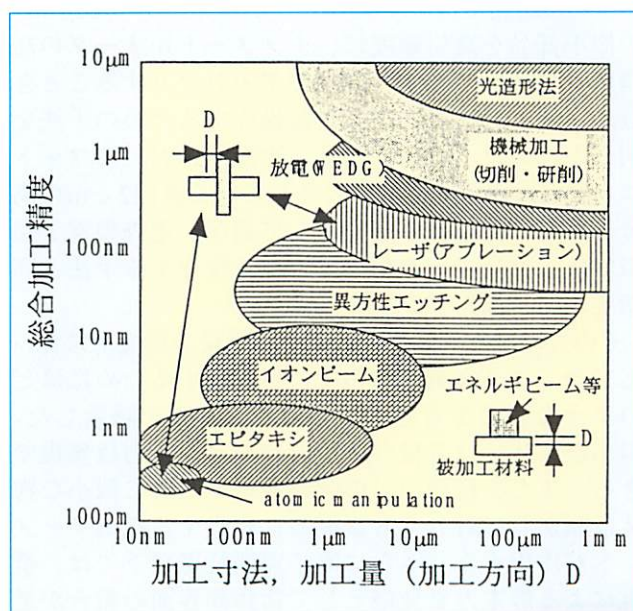


図1 加工特性比較図

高精度アセンブル技術の調査研究

東京大学大学院 工学系研究科 機械情報工学専攻 教授 佐藤 知正

マイクロマシンプロジェクトなどにおいて研究されている各種センサや医療機器などの開発の進展にとともに、 $100\mu\text{m}$ 以下の微小部品の組立技術が重要視されるようになってきた。これは、半導体微細加工技術の発達にとともに、立体構造物が組立を行うことなく実現可能になった一方で、実用的な機械システムという観点からすると、その加工された立体構造物を組立てる技術が不可欠であることが認識されるようになったためである。そこで、本調査研究では、アセンブリ可能な部品の限界をさらに広げる可能性を探ることとする。

現在、精密情報機器の実装においては、主に、光学顕微鏡画像を高速視覚処理した情報をもとに種々雑多な部品を高精度・高速に組立するシステムが用いられている。しかし、対象部品が微小化してくると、光学式のセンシング手法ではその物理的限界のために対応できなくなることがある。その場合の一つの可能性として、現在の光学顕微鏡に代わって電子顕微鏡を用いて高精度アセンブリを行う方法が考えられる。しかしながら、現在までに実現されている電顕下組立は、人間がマニピュレータを操作することにより試行錯誤的に行われており、人間の手作業の延長に過ぎない。これを微小構造物の製造技術にまで高めるには、電顕下での微小物体力学にもとづいた最適スキルと視覚制御による自動化が必要である。

本研究調査ではマイクロメートルオーダー（数 μm ）の微小部品を高信頼度に、ナノメートルオーダーの高精度（数 10nm ～数 100nm ）でアセンブリすることを目標として、微小物体を自動操作するための手法を明らかにした。具体的には、物理学においてフォトリソグラフィの研究で対象とされている直径 $2\mu\text{m}$ の高分子材料の微小球を題材として選び、走査型電子顕微鏡下において、高信頼度でPick操作する手法と高精度にPlace操作する手法を調査した。

そのためにまず、走査型電子顕微鏡の環境下においてアセンブリ作業を高精度に自動化するためにはどのような要素を考慮する必要があるかを議論した。微小な物体には各種の付着力が働き、重力は無視できる。また、接触面での弾性変形のために微小な物体は転がりに対しても摩擦力に相当する抵抗モーメントが作用する。さらに電子顕微鏡環境下では、帯電による静電気を発端として物体間界面の結合が進行し、時間とともに付着力は増大する。また、電子

顕微鏡下では観察に伴う汚染物の析出現象のために長時間観察することはできない。本研究においては、電子顕微鏡下でも有効なPick&Place手法を確立するために、これまでに人の操縦で行ってきた微小物体操作方法の何が成否の要因であったのかを微小物体の力学系の分析により明らかにすることとした。またそれを実現するために、走査電顕画像と力センサによる3次元位置計測手法を確立することとした。

ハンドリング工具と対象物の相対的な画面内方向の位置関係を計測するためには一般化Hough変換を用いた。計測対象の形状にも依存するが、この方法により、 $10\sim 40\text{nm}$ の精度で計測できた。また、奥行き方向については力検出による接触検出を用い、 100nm 程度の精度を実現した。

付着力と転がり抵抗モーメントを考慮し、付着力が接触後の時間とともに増大し続ける力学系を考え、微小球を高い確度でPickしたり高精度でPlaceしたりする方法を考察した。Pickするには対象物と基板の界面を一度剥離することが重要である。そのためには球の中心からわずかにずれた場所を基板に向かって押し込む偏心押し込み法が有効である。また、高精度にPlaceするには、ハンドリング工具と球の接触面に対して接線方向よりも若干押し込む方向に工具を動かす、接触点剪断法が有効である。実験により、直径 $2\mu\text{m}$ の球に対して $100\sim 200\text{nm}$ の偏心距離で偏心押し込みすると $10\sim 20$ 回の試行数に対して1回も失敗することなくPickできること、接触面に対して $10\sim 20\text{deg}$.の方向に押し込むように接触点剪断法を行うと、 140nm の精度で目的の位置に置くことができることがわかった。これらのことは、微小世界の力学を正しく理解すれば、不確実と思われる微小物体の挙動を、マニピュレータの軌道を適切に決めてやるだけで制御できることを意味している。

今後は、操作手法を一般化し、様々な材料や形状の対象物に適用できるようにすること、軌道だけでなく、対象物の帯電状態や静電気を制御してより簡便に操作するためのハンドリング工具を開発すること、電顕環境下における微小物体の付着力をより深く理解することが必要である。

微小管路における流れと流体抵抗低減化技術の調査研究

東京都立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授 渡辺 敬三

本研究では液体の流動損失の低減化の可能性と問題点について調査した。流れ場はマイクロスケールのため流れは層流である。それゆえ、抵抗減少効果を生ずるものとして超はっ水性壁に注目し、高分子流動についてもその現象の特異性について調べた。

微細管路が含まれる機器としては、バルブ、ポンプ及びフローセンサーなどをあげることができる。これらのデバイスは化学分析・薬液注入等医療用としての応用を計るものが多い。微細管路のスケールは $10\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ の範囲と考え、その応用の具体例を調査したが、そのスケールの微小化に伴う流体抵抗の変化や問題点及び抵抗減少効果についてはほとんど調べられていないことが判った。そして、流れ場に及ぼす圧力損失の影響を調べるために図-1に示されるような、微小円管内流れの応用例の一つであるインクジェットの流れをとりあげた。円管の直径は約 $10\mu\text{m}$ で、ジェットの流速は約 52m/s として流れはレイノルズ数 $Re\approx 300$ の層流である。その低減化の対象となるものは入口及び管内の粘性摩擦損失である。その結果、この系に供給したポンプの圧力の約60%が損失であり、微小管路の損失低減は重要な課題であることが判り、超はっ水性壁の製法とその特性を調べた。微小管路の超はっ水壁化の一つの方法としてメッキ法をとりあげ、その微小すきまに適用した具体例を示した。本方法によって膜厚さは数 μm で接触角が約 170° の超はっ水壁が得られ、

基材がアルミニウムであることの制約はあるが、微小管路に応用できる可能性が高いことを明らかにした。一方、はっ水粒子として低分子量PTFE粒子を選び、粒子分散形複合材料としての溶剤型はっ水塗料について、はっ水性と密着力の問題やはっ水性のメカニズムについて考察を加え、そのメカニズムを考える際に液体と固体境界の界面現象における気相の存在が重要であることを明らかにした。

一方、超はっ水性円管における圧力損失の抵抗減少効果の特性について、ナビエ・ストークスの式を用い、そして流体の滑りに対するナビエの仮説を境界条件に用いた管摩擦係数の解析結果を示した。図-2に示されるように、超はっ水性円管の管摩擦係数 λ はレイノルズ数 Re のみならず、粘度 μ 、半径 a 、および滑り係数 β を含む無次元数、 $S(=\mu/a\beta)$ に依存することが明らかにされている。今後、 β の値についてマイクロスケール場での測定や予測が必要となろう。さらに、液体の物理的特性と流動特性を変えろと言う視点から、抵抗減少効果に対する水溶性の高分子添加の問題を調査した。従来から指摘されているように、管壁における見かけの滑りに対する問題である。

以上のように本研究においては微小管路における液体の抵抗減少効果を得るための問題点と克服すべき課題を示し、今後の実験による実証の必要性を明らかにした。

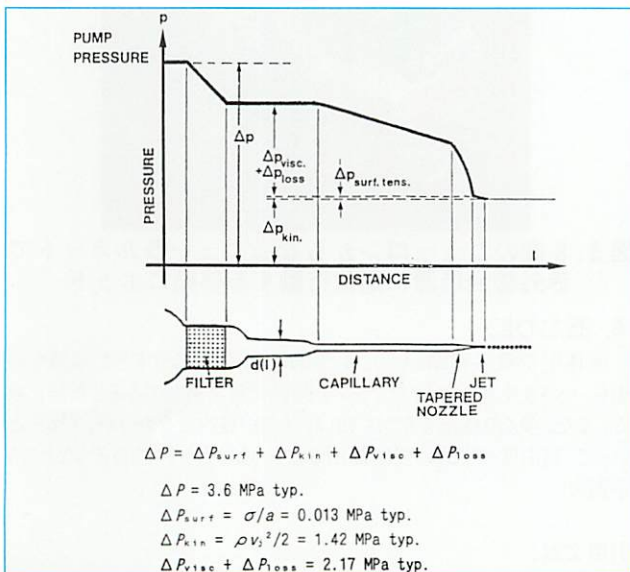


図-1 インクジェットの損失

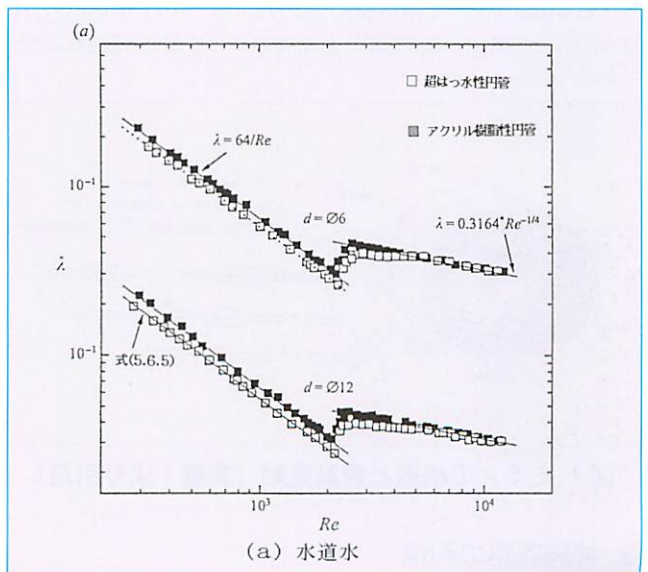


図-2 超はっ水円管の圧力損失

生物の運動メカニズムと制御の調査研究

東京大学大学院 工学系研究科 機械情報工学専攻 教授 下山 勲

1. はじめに

マイクロマシンと同じくらいの寸法の生物に、マイクロマシンの設計のヒントが隠されている場合がある。その中から、マイクロマシンの運動メカニズムや制御に適応可能な2つの例を述べる。

2. 体液の圧力の利用

チョウやガの幼虫や、ミズは体液を利用して体を変形することによって移動する。たとえば、図1のミズは、筋静水系と呼ばれる構造をしており、体腔の体液の圧力のために、輪状筋の収縮によって体節が長くなり、縦走筋の収縮によって体節が太くなる。さらに、ミズの体の剛毛と地面とは非対称な摩擦力を引き起こすので、特定の方向へ移動が可能になっている。

そこで、流体の圧力を利用したマイクロマシンの駆動方法が考えられる。変形可能な容器を流体で満たし、さらに外部から流体を加圧して注入すると容器の体積は増し、どの方向に対しても容器が膨らむ方向に変形する。しかし、ある種の編み方で編んだ編物で容器を覆うと、容器の体積が増すにもかかわらず、ある方向には縮む。このメカニズムは、以前から知られているもので、人工筋として商品化されたこともあったが、流体の制御がむずかしいのであまり使われることはなかった。精度よい位置決めや運動性能が問われるこれまでのロボットでは、アクチュエータは外力によって変形しやすいソフトなものより、堅くて強い力が出て位置決め精度のよいものが好んで用いられた。

マイクロマシンの運動機構でも、位置決め精度が要求されることがあるが、単純にOn-Offとして働けばよいものもある。そこで、われわれの研究室では、細いシリコンチューブを用いた直径1mmの水圧駆動の図2の人工筋を試作した。先に述べたように、このアイデア自体はよく知られたものであるが、人工筋の直径を細く、長さを短くしたところがおもしろいところである。

ところで、流体圧を利用した人工筋の力は1方向のみに作用する。したがって、往復運動が必要なときには、伸筋と屈筋のように流体圧人工筋を組み合わせて用いるか、他のアクチュエータを併用しなければならない。これは、体液を用いた生物の体の変形にも見られることである。

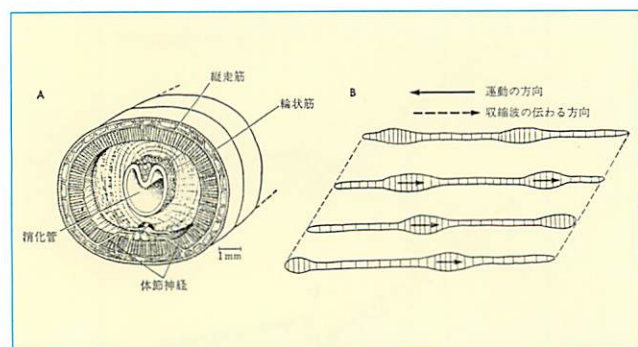


図1. ミミズの構造と蠕動運動 (文献1より引用)

3. 神経回路の利用

マイクロマシン内部に運動制御の回路を搭載する場合、体積や重量の制約があるので、高性能なコンピュータを載せることは困難であ

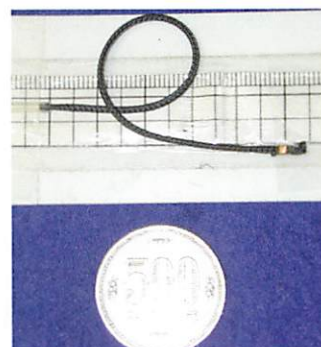


図2. 空気圧を用いた微小人工筋

るが、たとえば、移動機構の制御では、電子回路で順序回路を作って、脚などを順序正しく動かすだけで十分である。順序回路に相当する生物の神経回路は、いわゆるリカレントネットワークの形で存在しているという見方があり、これは、個体が親から受け継いだ遺伝的なプログラム、つまり、中枢神経の結合として存在していると考えられる。

順序回路をマイクロマシンの運動順序、言い換えるとリズム発生器として用いるには、論理回路の設計理論が使える。また、環境の情報をセンサでよみとって神経回路に入力すれば、環境と相互作用するシステムになり、たとえば、赤外線放射源などの外部刺激に定位するような機械にもなる。

図3は、8つのニューロンの神経回路と、赤外線を感知するセンサをもつ移動機械である。この機械は、カイコガのメスのフェロモンによって引き起こされるオスの行動をモデルとしたものであり、赤外線の発信源に向かって動く様子は、カイコガの行動に似たものになっている。

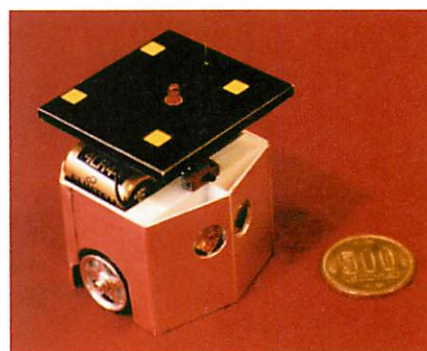


図3. 8個のニューロンからなるニューラルネットで赤外線発信源に定位行動する移動ロボット

4. おわりに

流体圧や順序回路という、工学的には常識となりすぎた知識や技術も、小さな生物とマイクロマシンを関係付けて眺めてみると新鮮に映る。また、多くの体節をもつ生物は、大きい自由度をもつが、だからといって、自由度が大きいだけ器用かという、そうでもなさそうところが面白い。

引用文献:

1. 杉晴夫: 筋運動の進化、東京大学出版会、UP BIOLOGY、1977.

多数のマイクロ機能要素で構成されるシステムに関する研究調査

東京大学生産技術研究所 第3部 教授 藤田博之、年吉 洋、安宅 学

最新のマイクロマシン技術の発達はめざましく、様々の立体的マイクロ構造が製造できるようになった。また、インクジェットプリンタやマイクロミラーに基づくディスプレイなど商品化されたものも多い。しかし、現在マイクロマシーニング技術を用いて作製されるマイクロアクチュエータは、単体では発生力も小さく、動きも往復や回転の単純なものに限定されている。蟻や蜂の群れに象徴されるように、小さい物はたくさん集まって初めて役に立つ仕事ができる場合が多いし、よりきめ細かい仕事ができる。

このため、多数のマイクロ機能要素で構成されるシステムと、その要素が協調して目的のタスクを遂行する仕組みについて以下の項目を調査した。

- (1) 多数のマイクロ要素から成るマイクロシステムの概要として、自律分散マイクロシステムの考え方と特徴、その応用例。
- (2) 多くのアクチュエータが力を合わせて物体を運ぶシステムについて、分散制御アルゴリズム、分散画像認識アルゴリズムとその集積回路への実装、様々な駆動原理を用いた搬送アクチュエータアレイの実例。
- (3) 未来指向の研究として、群マイクロロボットの協調制御アルゴリズムとシミュレーション結果、多くの自走ロボットのマクロモデル実験。
- (4) マイクロアクチュエータが線状に直列接続されたシステムとして、能動カテーテル。
- (5) 流体や音響特性を制御する分布形マイクロシステムとして、飛行機などの表面にマイクロアクチュエータを配置し、翼上面の渦の制御を通して姿勢を制御するアクティブスキン、壁にマイクロ共鳴器を分布配置し、部屋の残響を制御する試み。
- (6) 光学系の焦点面や反射面の全体に渡ってアクチュエータをアレイ状に配置し、望みの光学特性を得るアレイ化マイクロ光学システム。
- (7) 微細な力発生要素を直並列に結合することで、

大きな出力や変位を得るアレイ化アクチュエータとして人工筋肉アクチュエータ、分布型静電アクチュエータ、スクラッチ駆動アクチュエータアレイ。

以上の調査の結果、多数のマイクロ機能要素で構成されるシステムの研究方向として、図1に示すような三つの方向があることが分かった。すなわち第1の方向は、自立分散マイクロシステムに代表される、より高度に知能化されたマイクロシステムを作るという方向である。第2の方向は、広い範囲に渡って微細な制御を必要とする応用を特定し、それに適合したマイクロシステムを研究する方向である。空間光モジュレータ、ディスプレイ、流体の制御、音響制御、能動カテーテルなどが研究されている。第3は、ミクロの力発生要素を多集積化したアクチュエータを作り、大きな力と大変位を得ようとする方向である。これらの三つの方向について、微小な要素を多数集めて大きな効果を得るという、マイクロマシン技術の将来の姿を明らかにした。

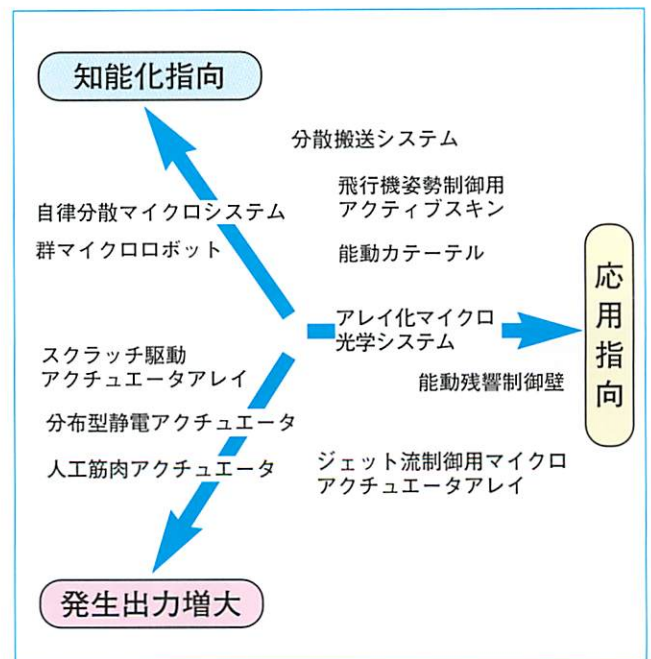


図1 多数の微小な要素からなる機械システムの研究方向

岩手マイクロマシンセミナー開催される

岩手マイクロマシンセミナーは、平成11年9月3日(金)の午後、当センター及び岩手県(岩手県工業技術センター)、岩手県メカトロニクス研究会、岩手大学地域共同研究センター、岩手ネットワークシステム、(財)岩手県高度技術振興協会が主催して、盛岡市のホテル「エスポワールいわて」で開催されました。

本セミナーでは、最近のマイクロマシン技術を解説するとともに、現在(財)マイクロマシンセンターを中心に進められている産業科学技術研究開発制度プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」の概要説明と4件の具体的成果が紹介されました。

また、休憩時間には、会場に持参したマイクロマシン技術のポータブル展示品「マイクロ流体操作デバイス」((株)日立製作所製)及び「SMA マイクロコイル首振り内視鏡」(三菱電線工業(株)製)について、原田武氏及び遠山修氏より展示説明が行われ、マイクロマシン技術について聴講者に知って貰うよい機会となりました。

岩手県工業技術センターの河野隆年副所長に前半の座長を、また、岩手大学の森誠之教授に後半の座長をして頂きました。

講演では、岩手県工業技術センター大田原功所長の挨拶に続き、MMC平野隆之専務理事、湘南工科大学北原時雄教授、MMC石川雄一研究部長がそれぞれ「MMCの事業について」、「マイクロマシンの特徴」、「第2期マイクロマシンプロジェクトの概要」について講演を行いました。

さらに、産業科学技術研究開発制度プロジェクトの成果紹介では、次の講演を行いました。

「マイクロ減速機用超小型遊星減速機構」

松下技研(株) 超機構研究所 清水 紀智氏

「ホロニックメカニズムと群制御」

三菱重工業(株) 高砂研究所 塩谷 成敏氏

「マイクロ流体操作技術の研究開発」

(株)日立製作所 機械研究所 原田 武氏

「環境認識デバイス」

三菱電線工業(株) 総合研究所 遠山 修氏

岩手では、今回のセミナーでご協力頂いた主催者が中心となって地域産業の中核的技術支援機関として、鋳工業、繊維、発酵分野の先導的技術開発や産学官共同研究に取り組むとともに、企業ニーズに基づく技術相談や研究・試験等を行い、新産業創造支援など県内企業の創造的活動を積極的にしています。さらに、施設・設備を産学官の研究者・技術者に解放し、地域における研究開発、技術交流を支援しています。

岩手県には鉄鋼製品を扱うメーカーが多く、微細な機械加工技術、精密金型加工技術、バイオ関連技術等、マイクロマシン及びマイクロメカニズムに応用出来る技術を有する企業が多数あります。

そのため、マイクロ理工学、微小機能要素技術などの多様な技術分野の融合であるマシン技術を産業、社会、生活の多方面で有効に活用するための契機として、このセミナーに寄せる関心は高く岩手県内及び東北地方の精密機械工業や精密電子工業、レーザ加工工業に関連する25社からの聴講者31名と、大学・工業技術支援団体・研究所等からの聴講者35名を合わせて66名が参加し、講演に対して活発な質疑応答が行われ、有意義なセミナーとなりました。



岩手マイクロマシンセミナー風景



マイクロマシン技術のポータブル展示風景

第5回国際マイクロマシンシンポジウムいよいよ開催

秋の恒例イベントとなった国際マイクロマシンシンポジウムは今年で第5回を迎えます。今年も例年通り、東京・北の丸公園内の科学技術館サイエンスホールにて、10月28日(木)・29日(金)の両日に開催されます。

今回のシンポジウムは、組織委員会(委員長:中島尚正東京大学大学院工学系研究科長)が企画立案を行い、プログラム委員会(委員長:佐藤知正東京大学教授)が具体的なプログラムと招待講演者を決定しました。さらに、今年、英国・グラスゴーで開催された第5回マイクロマシンサミット参加の欧米諸国の首席代表9名からなるアドバイザリーボードを設置し、国際的視点からも充実した内容とするべく準備をしてきました。

第一日目は、招待者による講演を行います。開会冒頭のセッション1「オープニング」では、通商産業省、工業技術院、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの来賓ご挨拶に続き、東京大学名誉教授石井威望先生の「マイクロマシンが21世紀にもたらすもの」と題する特別講演が予定されています。21世紀を目前に控えた今、マイクロマシンの将来と人類への寄与など、広い視点からのお話を伺えるのではないかと期待しています。普段マイクロマシン技術の研究開発に携わる方々にとってもあらためてマイクロマシンの将来とその進むべき方向について考えてみる絶好の機会になるのではと思います。

引き続き、第一日目の午前中には、産業化について次の5名の方々に講演をお願いしています。

セッション2 「マイクロマシン産業への途」

児玉文雄/東京大学先端経済工学センター

「21世紀のマイクロマシン市場展望」

Franz van de WEIJER/NEXUS

「Market Study on Multimedia and Peripherals」

板生清/東京大学大学院新領域創成科学研究科

「ウェアラブル情報マイクロマシン」

佐藤知正/東京大学大学院工学系研究科

「ペットロボットとマイクロマシン」

佐藤壽芳/中央大学理工学部

「標準の動向」

昼食をはさんで、午後は3つのセッションを企画しました。

まず、午後最初のセッションでは海外から4名の方々をお呼びし、海外の最新動向を紹介して頂きます。

セッション3 「海外の動き」

Karen W. MARKUS/MCNC

Recent MEMS Activities in USA

Francois GREY/Technical University of Denmark

Nordic Collaboration in Micromachine Technologies

Ronald B. ZMOOD/Melbourne Institute of

Technology

Recent Developments in Collaborative

Micromachine Research in Australia

Nico F. de ROOIJ/University of Neuchatel

Recent Activities on Micromachine

Technologies in Switzerland

次に、今後大きな展開が期待される新しい研究の動きについて4名の方々に紹介して頂きます。

セッション4 「革新研究紹介」

民谷栄一/北陸先端科学技術大学院大学

「バイオチップに関する最新研究動向」

鎮西恒雄/東京大学先端科学技術研究センター

「治療機器としてのマイクロマシン」

三矢保永/名古屋大学大学院工学研究科

「磁気ディスク装置のナノテクノロジー」

Chih-Ming HO/UCLA

「MEMS Transducers for Fluidic Control」

当センターでは、マイクロマシンが将来への大きな可能性を持った技術であるという観点から、子供達の絵画コンテストなど、次世代への発信に力を注いでいます。最後のセッションは、そのような観点から企画されたセッションです。

セッション5 「マイクロマシン考ー若者への発信ー」

門脇厚司/筑波大学教育学系

「青少年の生活・価値観のトレンド」

林達郎/(財)日本科学技術振興財団

「科学技術館・展示としてのマイクロマシン」

Chang-Jin "CJ" KIM/UCLA

「MEMS Education Program at UCLA」

二日目は、通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度プロジェクト（産技プロジェクト）「マイクロマシン技術の研究開発」の進展状況を報告します。

まず、工業技術院の山口佳和研究開発官による総論の後、3つの国立研究所（機械技術研究所、電子技術総合研究所、計量研究所）の方々にマイクロマシン技術の研究紹介と将来展望等について講演をお願いします。次に、当センター研究開発部会長と4人のワーキンググループ主査により、産技プロジェクト第2期研究開発の概要と技術動向調査についての報告が行われます。引き続き、産技プロジェクトの最新成果の詳細について研究賛助会員各社の研究者より説明が行われます。講演者と講演タイトルは次の通りです。

セッション6「産業科学技術研究開発制度プロジェクト"マイクロマシン技術の研究開発"の進展状況」

山口佳和/通商産業省工業技術院研究開発官
「産業科学技術研究開発制度とマイクロマシン技術の研究開発」

小鍛治繁/通商産業省工業技術院機械技術研究所
「機械技術研究所におけるマイクロマシン技術の研究開発」

平井成興/通商産業省工業技術院電子技術総合研究所
「電子技術総合研究所におけるマイクロマシン関連技術の研究」

櫻井慧雄/通商産業省工業技術院 計量研究所
「計量研究所におけるマイクロマシン技術の研究成果」

安宅龍明/(財)マイクロマシンセンター 研究開発部会長
「マイクロマシンプロジェクトの概要」

川原伸章/(財)マイクロマシンセンター W/G主査
「管内自走環境認識試作システムについて」

成宮宏/(財)マイクロマシンセンター W/G主査
「細管群外部検査試作システムについて」

太田亮/(財)マイクロマシンセンター W/G主査
「機器内部作業試作システムについて」

古田一吉/(財)マイクロマシンセンター W/G主査
「マイクロファクトリ試作システムについて」

山田浩/(株)東芝
「高密度マイクロ視覚モジュール三次元実装技術」

村石賢介/三菱マテリアル(株)
「形状自在電池の開発」

ロナルドペルライン/(財)SRIインターナショナル
「人工筋肉を応用したマイクロアクチュエータの研究」

戸谷浩巳/オムロン(株)
「圧電薄膜アクチュエータを用いた超小型2次元光スキャニングセンサ」

竹村光治/(株)村田製作所
「マイクロジャイロ」

遠山修/三菱電線工業(株)
「ファイバースコープを用いた環境認識デバイス」

中村裕司/(株)安川電機
「マイクロサーボアクチュエータの開発」

なお、第10回マイクロマシン展が同じ科学技術館1階において10月27日から併催されます。当センターの研究賛助会員を始め、マイクロマシンに関連する企業・大学・団体等からの展示が行われます。賛助会員企業と3国研からは産技プロジェクトを中心とするマイクロマシン技術関連の具体的な成果が展示されます。本シンポジウムと併せ、マイクロマシン展を見学されることにより、効果的にマイクロマシン技術を理解する絶好の機会です。本シンポジウム参加者は、参加証を提示することで、マイクロマシン展に自由に入場できます。

シンポジウム参加登録申し込みは、10月15日が期限です。席に余裕がある限り、当日でも受け付けますので多くの方々への参加をお待ちします。

三菱マテリアル株式会社



取締役、開発本部開発戦略部長兼総合研究所長 吉住 素彦

1. マイクロマシン技術への取り組み

21世紀に向かって、情報通信技術の革新、ネットワークの普及により世界は大きく変貌しようとしています。それと並行して人々のライフスタイルも変化し、大量生産・大量消費から資源循環・環境共生を重視する方向に進んでいます。三菱マテリアルは研究開発を経営の基盤に置きながら、「エネルギー」「環境」「材料」をキーワードに世の中のニーズに応じていきたいと考えています。

マイクロマシン技術の研究開発においても、この方針に沿って、環境共生型の材料による、小さな占有スペースで大きな仕事が可能な省エネルギー型のマイクロバッテリー（二次電池）デバイスの開発に取り組んでいます。

2. マイクロマシン技術の開発

産技プロジェクトでは、機能デバイスの高度化技術の研究開発の一環として、管内自走環境認識システムを想定モデルとしながら、エネルギー供給デバイスの一つであるバッテリーのマイクロ化に取り組んでいます。マイクロマシンの狭くて限られた空間を有効に使うためには、バッテリーには小型化、高エネルギー密度化とともに形状自在化が求められています。第2期では、最も広い面積を占めているが有効に活用されていないマイクロマシンの内壁及び外壁に貼り付けたり巻き付けたりすることが可能なテープ状形状自在電池の開発に注力しています。バッテリーが自在に曲げられるためには、電池を構成する各

パーツをフレキシブルな材料で組み立てる必要があります。また、電池反応もフレキシブルな材料と良くなじむ反応系を選択することが重要です。図1にリチウム系の電池反応とフレキシビリティを有する代表的な材料であるポリマー材を正極、負極、電解質に用いたテープ状形状自在二次電池の構成原理図を示します。フレキシブルな集電体や正極シート、負極シート、電解質シート間の高強度接合技術に工夫をこらすとともに、アルミパッケージ材の封止性に気をつけながら電池本体をパッケージングすることでテープ状形状自在二次電池を試作しました。試作したテープ状二次電池を半径2cmの円柱に巻き付けて動作させている様子を図2に示します。電池の



図2 試作したテープ状の形状自在二次電池

寸法は長さ14cm、幅2cm、厚さ0.5mmです。主な電池特性は平均電圧3.6V、放電容量100mAhで、小型モータを5時間程度動作させることができます。

3. 今後の取り組み

マイクロマシン技術の重要な要素技術の一つであるエネルギー供給技術の高度化に貢献していくとともに、産技プロで培ったマイクロ加工技術、マイクロパッケージ技術、エネルギー材料応用技術を生かして21世紀にふさわしい商品を提供していきたいと考えています。

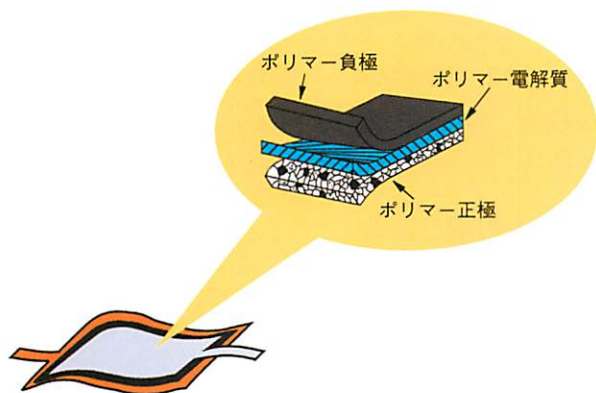


図1 形状自在二次電池の構成原理図

株式会社村田製作所



横浜事業所所長 石川 容平

1. マイクロマシン技術への取り組み

当社では、“新しい電子機器は新しい電子部品から、新しい電子部品は新しい材料から”という基本理念に基づいて電子部品・材料の研究開発を進めています。マイクロマシン技術もその一環として、情報・通信分野、自動車機器分野など広範な分野において革新的な基盤技術となると考え、通産省産技プロジェクトに参画し、横浜事業所において積極的に取り組んでいます。産技プロジェクトでは、マイクロジャイロを用いた姿勢制御技術の研究を行っています。また、産技プロジェクトの成果を実用化するためにマイクロジャイロの商品化についても平行して進めています。

2. マイクロマシン技術の開発

産技プロジェクトでは、マイクロマシンシステム化技術の一環として、オリンパス光学工業、オムロンと共同で機器内部作業用マイクロマシン試作システムの構築を進めています。この中で当社はシステムヘッドの姿勢制御を担当し、第1期で確立したマイクロジャイロを用いた制御技術の確立に努めています。現在、試作したマイクロジャイロをシステムヘッドに実装して、マイクロジャイロの基本性能を確認し、姿勢制御機能の検証を進めています。

デバイスとしての課題はチップパッケージプロセス技術の確立にありましたが、ガラス-シリコン-ガラスの3層構造を用いて、ゲッター材を使用した真空陽極接合技術により、200 Pa以下の減圧パッケージを実現し、この技術を用いてマイクロジャイロを試作し、システム姿勢制御機能の検証を行っています。

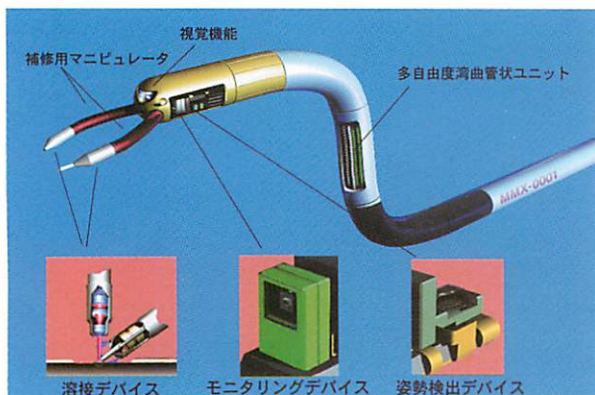


図1 機械内部作業試作システム

これと平行して、マイクロジャイロの要素技術高度化にも取り組んでいます。分解能等の性能制約要因が駆動振動モードと検出振動モードのメカニカルカップリングにあることに注目し、2次元レーザ変位計を用いたメカニカルカップリングの測定、メカニカルカップリングの少ない素子構造の検討を進めています。特に、DCバイアス印加によるカップリングの調整技術を開発しました。

一方、産技プロジェクトの成果を実用化するために、一般応用を目指したシリコンジャイロの開発に取り組んでいます。シリコン-ガラス-シリコン3層構造で、プロセスと構造がよりシンプルになる平面2方向振動型素子構造を採用し、さらにメカニカルカップリング低減に有効な2重枠構造を考案し、ウェハーレベルの減圧パッケージプロセスと組み合わせることにより実用性の高いデバイス開発を進め

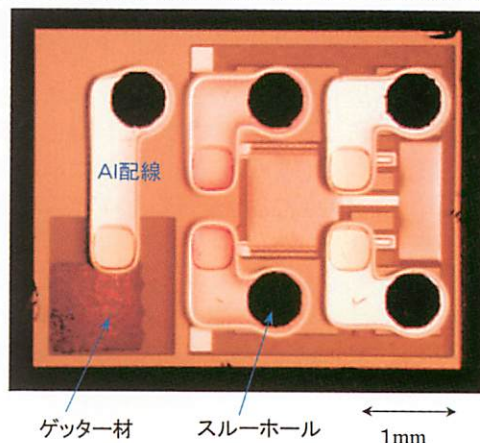


図2 試作システム用マイクロジャイロ

ています。現在、分解能で0.8 deg/sec (rms)、リニアリティ1%以下、耐衝撃性1500G、0.5msが得られています。

3. 今後の取り組み

マイクロジャイロを中心にマイクロマシン技術の確立を進めてきました。機器内部作業用マイクロマシン試作システムを完成させることによりマイクロジャイロによる姿勢制御の有効性を実証していくとともに、技術の完成度を更に高め、21世紀に向けてマイクロジャイロの実用化を進めていきます。

99マイクロマシン欧州ミッション

マイクロマシン欧州セミナー開催の際に、現地の研究機関の訪問を行いました。

訪問場所：CEA-LETI

フランス(グルノーブル)

日時：6月24日(木)

面談者：Dr. Jean-Frederic Clercほか

概要：

LETI(Laboratoire d'Electronique de Technologie et d'Instrumentation)はCEA(Commissariat à l'Énergie Atomique)の一研究機関で、研究の80%は外部機関との契約で成立し、技術移転の活動も活発です。LETIの展示室にて、圧力センサ、加速度センサ、排ガスセンサ、DNAチップ、光ジャイロセンサ等の説明を受けました。マイクロ光学関連、マイクロセンサ関連を中心に研究が進められています。

訪問場所：University of Roma Tor Vergata

イタリア(ローマ)

日時：6月28日(月)

面談者：Prof. Arnaldo D'Amicoほか

概要：

1997年にローマ南東部に作られた新しいキャンパスの大学です。周辺は、大学のほか、国の研究機関等の建設が進められており、大規模な新研究地域を目指しています。Prof. D'Amicoの研究室では、ケミカルセンサ(O₂、匂いセンサ)、AFMや近接場顕微鏡を用いた細胞の計測などの研究が行われていました。匂いセンサは、ワイン、肉、魚等の食品の品質管理を主なターゲットにされているそうです。特

に、8つのにおいセンサエレメントとニューラルネットワークによる情報処理を組み合わせた“人工鼻”の研究に力を入れられていました。

訪問場所：Scuola Superiore Sant'Anna; SSSA

Mitech Lab.,及びArts Lab.

イタリア(ピサ)

日時：6月29日(火)

面談者：Prof. Paolo Dario, Prof. Maria Chiara Carrozza

概要：

SSSAは1987年に設立された公立の大学で、社会科学部と応用科学部、教授40名、学生160名からなっています。Mitech Lab.(Microfabrication Technology and System Laboratory)とArts Lab. (Advanced Robotics Technology and System Laboratory)は、SSSA内の組織です。それぞれマイクロ技術、ロボット技術を研究テーマとしていますが、いずれもProf.Darioが率いており、あまり垣根なく一緒に研究を進めているようです。Mitech Labでは、微細作業用のマイクログリッパ、流体デバイス等の説明を受けました。特に流体デバイスに関しては、EUROPRACTICE II(ECが主催するマイクロマシンプロジェクト)の下、注力しているとのことでした。Arts Labでは障害者用の支援ロボット、大腸自走型エンドスコープ、関節鏡下手術用VRシステム、筋電位を用いた義手システム等の研究が進められていました。Mitech LabとArts Labは2001年頃にPisaから少し離れたPontedera市に移転する予定とのことでした。



Letiにて



Arts Lab.にて

マイクロマシン欧州セミナー開催される

1999年6月22日から7月4日にかけて、日本貿易振興会（JETRO）業界交流ミッションの一環として、フランス、イタリア、スペインの3ヶ国で、それぞれ現地のマイクロマシン関連団体および研究機関と共同でセミナーを開催しました。これは、日本からの技術情報発信とともに、ヨーロッパのマイクロマシン関連団体および専門家との交流を目的としたものです。セミナーの詳細は以下の通りです。

<日本からの講演と講演場所>

“Future Prospect of Micromachine”:平野 隆之,(財)マイクロマシンセンター(仏,伊,スペイン)

“The Prospects of National Micromachine R&D Project in Japan”:安宅 龍明,セイコーインスツルメンツ(株),(伊,スペイン)

“In-pipe Wireless Microrobot”:光本 直樹,(株)デンソー,(仏,伊)

“Experimental Chain-type Micromachine for Inspection of Outer Tube Surfaces”:成宮 宏,三菱電機(株)グループマネージャ,(仏,伊,スペイン)

“Development of Microgyroscope”:大和田 邦樹,(株)村田製作所,(伊,スペイン)

“Design and Fabrication of a Peristaltic Micropump”:成瀬 好廣,(株)アイシン・コスモス研究所 副主席研究員,(仏,伊,スペイン)

“Micro Sensors for Minimally Invasive Diagnoses and Therapies”:三原 孝士,オリンパス光学工業(株) 部長,(仏,伊,スペイン)

<各セミナーの概要>

1. Microsystems in Rhone-Alpes and Japan

[開催日]: 1999年6月24日(木)

[場所]: LETI フランス グルノーブル

[参加者]: 約30名(フランス国内(特にローヌアルプ地方)の企業、大学、研究機関等)

CEA-LETIほかとの共催で実施しました。フランス側からは、LETI、aratem(ローヌアルプ地方の計測技術の研究機関)、SEXTANT Avionique(航空機用機器メーカー)におけるマイクロマシンの取り組み、NEXUSの活動、CMOS based DNA chipなどの講演がなされました。ビジネス、実用化に関する質問を多く受けました。

2. ITALY-JAPAN JOINT SEMINAR ON MICROMACHINES

[開催日]: 1999年6月30日(水)

[場所]: Scuola Superiore Sant'Anna,(聖アンナ大学)、イタリア ピサ

[参加者]: 約100名(イタリアの企業、大学、研究機関)

[内容]:

聖アンナ大学他との共催で実施しました。100人を超える参加者を得、地元テレビ2局の取材を受けるなど、大変盛況でした。イタリアからは、イタリアのマイクロマシンの研究体制、プリンタ、車、等へのマイクロマシン技術の応用例が、主にミラノ、ピサ周辺の企業から報告されました。

3. Micromachine Seminar

[開催日]: 1999年7月2日(金)

[場所]: スペイン アイバー

[参加者]: 約70名(スペインの企業からが中心)

[内容]:

Teknikerとの共催で実施しました。会場は、スペイン北西部のバスク地方にあります。スペイン側からは、国立マイクロエレクトロニクスセンターやTeknikerにおける研究体制、研究事例が報告されました。



イタリア・ピサでのセミナー



スペイン・バスクでのセミナー

講座 マイクロマシン技術関連 専門用語 [第3回]

MMCテクニカル・レポート「マイクロマシン技術専門用語 (MMC TR-S001(01)-1998)」から主要用語を抜粋して掲載する第3回です。参考資料など詳細については、MMCテクニカル・レポートをご覧ください。

メカノケミカルアクチュエータ 【Mechanochemical actuator】

【定義】 化学エネルギーを直接機械的仕事に変換するアクチュエータ。

【解説】 メカノケミカルアクチュエータは、化学エネルギーを駆動源としているため、アクチュエータとしての効率が寸法に依存しないことが特徴である。収縮-膨張の力は、外部より与えられる刺激に対して、分子、高分子コンフォメーション、高分子間相互作用、高分子架橋のそれぞれのレベルで内部エネルギーが変化することにより得られる。開発例としては、ロボットハンド、義肢等への応用の他、分子レベルでの機械的動作を行うクランプ等への応用がある。 【参考資料】 (2)(8)

ワブルモータ 【Wobble motor】

【定義】 ロータが公転するとともにスリップなしに自転する可変ギャップ型静電モータ。

【解説】 ワブルモータは、ハーモニック静電モータとも呼ばれ、ロータと、静電力発生用の電極を持つステータと、ロータまたはステータ表面に形成される絶縁膜から構成される。ロータは公転方向と反対方向に自転し、自転速度は公転速度の $((\text{ステータ周長}-\text{ロータ周長})/\text{ロータ周長})$ 倍となる。その特徴は、1)ロータ周長をステータ周長に近づけることにより低速・高トルクが容易に達成できる、2)摺動部がなく摩擦・摩耗の影響がない、3)種々の材料が使用可能、4)アスペクト比を容易に大きくできる、等である。一方、ロータが公転により振動するという問題がある。試作例には、可とう継ぎ手によりロータを支持したワブルモータ、ICプロセスにより製作されロータが支軸に対し転がり運動するワブルモータがある。 【参考資料】 (4)(6)

超音波モータ 【Ultrasonic motor】

【定義】 弾性振動としての超音波振動を利用したモータ。

【解説】 超音波モータは、ロータにステータを押し付け超音波振動を機械的出力に変換する構造であり、1)構造が簡単で小型軽量化が容易、2)低速域で大きなトルクが取り出せるためダイレクトドライブが可能、3)単位重量当たりの出力が大きい、4)応答性がよい、5)制御性がよい、6)電源off時に自己保持力によりロータ位置を維持できる、7)磁気ノイズが出ない、等の特徴がある。一方、ステータとロータ間に摩擦・摩耗が生じる問題がある。また、定在波形と進行波形の駆動方式があり、前者はエネルギー変換効率が高く、後者は正逆回転が可能でより制御性に優れている。一般に、ダイレクトドライブで

低速高トルク特性が要求される用途に用いられる。 【参考資料】 (4)(6)(8)(14)(15)

バイオセンサ 【Biosensor】

【定義】 生体物質を素子に用いたセンサ、生体関連物質を測定対象とするセンサ、および生体をモデルとしたセンサの総称。

【解説】 バイオセンサの一般的な構成は、測定対象物を識別するための生体分子識別材料（酵素や抗体などの生体触媒が用いられることが多い）と、その反応に伴う物理量や化学量を検出するデバイスからなる。このデバイスには半導体センサや種々の電極（ISFETやマイクロ酸素電極、蛍光検出オプティカルセンサ等）を用いることができ、シリコン微細加工技術によって製作される。血液分析システム、グルコースセンサ、マイクロロボット等に使用される。 【参考資料】 (2)(4)(19)

圧力センサ 【Pressure sensor】

【定義】 流体の圧力を測定するためのセンサ。

【解説】 一般的に、圧力センサはシリコン微細加工技術、特に異方性エッチングを用いて受圧ダイヤフラムを加工し、さらにひずみゲージを基板上に集積化した構成である。現在最も商品化が進んだマイクロマシンと言われ、自動車のエンジンの制御に使われている。今後も大きな市場が期待され、さらに小型化、高精度化、信頼性向上、集積化等の研究開発が進められている。ひずみゲージ式以外に、静電容量型や振動型のセンサも開発されている。

【参考資料】 (2)(3)

加速度センサ 【Accelerometer】

【定義】 加速度を測定するセンサ。

【解説】 シリコン微細加工技術によって軟らかいバネとマスを作製し、加速度が加わるマスの慣性力によるバネの変位を検出したり、その変位を相殺する力を測定して、加速度を検出するセンサである。これらシリコンで作られたセンサのうち、加速度センサは次世代の商品として期待されており、多くの研究、開発が行われている。半導体ひずみゲージ方式、静電容量検出方式、電磁サーボ方式、静電サーボ方式等の組み合わせで多くの事例がある。さらに共振周波数の変化を検出する振動検出方式センサや圧電効果を利用した圧電効果型加速度センサもある。自動車、ロボット、宇宙産業等の幅広い応用を目指して、開発が進められている。 【参考資料】 (2)

集積化化学分析システム

【Integrated chemical analyzing system】

【定義】 化学センサと流体制御素子を集積化した超小型化学分析システム。

【解説】 集積化化学分析システムとして、血液ガスモニタリングマイクロシステムや集積化クロマトグラフィシステムなどが製作されている。血液ガスモニタリングマイクロシステムは、間欠的に採取された血液のpHの分析をするものであり、マイクロバルブやpH ion sensitive field-effect-transistor (pHISFET)などをシリコン基板上に集積化した例がある。また、集積化クロマトグラフィシステムは、試料成分の吸着作用の差を利用した成分分離・分析システムである。試料導入バルブやセンサ、カラム（管）などをシリコン基板上に集積化したものが製作され、市販されている。【参考資料】 (4)

マイクロジャイロ 【Micro-gyroscope】

【定義】 角速度を検出する微小なセンサ。

【解説】 マイクロジャイロはマイクロロボットの姿勢センサとして期待されている。機械式のジャイロでは、コリオリ力を利用し、回転式と振動式がある。また、サニャック効果を利用した物として、リングレーザジャイロやオプティカルファイバジャイロがある。これらの方式のうち、マイクロ化に向くと考えられる振動式（音叉型や音片型）がマイクロ用として研究されている。【参考資料】 (19)(20)

ISFET

【Ion sensitive field effect transistor (ISFET)】

【定義】 Ion Sensitive Field Effect Transistorの略語。イオン選択性電極と電界効果型トランジスタ（FET）を一体化した半導体センサ。

【解説】 イオン選択性電極部では、血液の水素イオン濃度（pH）や炭酸ガス分圧等の変動によって膜電圧が変化する。増幅用のアンプとして電界効果型トランジスタ（FET：多数キャリアによる電流通路（チャネル）のコンダクタンスをキャリアの流れに直角な電界によって制御するトランジスタ）が使用される。シリコンの微細加工技術により、シリコン基板上に検出部と増幅器が一体化されて製作される。またバルブ等のメカニカル部品も同時に製作された例もある。【参考資料】 (1)(4)(11)

マイクロフレネルレンズ 【Micro-Fresnel lens】

【定義】 小レンズ形状を輪帯状に配列したマイクロレンズ。

【解説】 低収差で高効率、高NA（開口数）性能を持つマイクロレンズとしてマイクロフレネルレンズが研究開発されている。マイクロフレネルレンズは、一個のレンズで高NAを達成することができる。

電子ビーム描画によって作製されたレンズパターンを持つ原盤でガラス基板上にレンズを複製する手法で作られる。【参考資料】 (21)

マイクロバッテリー 【Micro-battery】

【定義】 化学的エネルギーを電気エネルギーに変換する超小型装置。

【解説】 エネルギー供給が重要となるマイクロマシン分野では、マイクロバッテリー、マイクロ発電機、マイクロ波エネルギー供給、振動エネルギー伝搬、光エネルギー変換装置等の研究開発が行われている。マイクロバッテリーは体積当たりのエネルギー密度の向上、小型化を目指し、薄膜プロセス、加工技術、特にパッケージング技術の開発、電解質材料の研究開発等が進められている。マイクロマシンの体積が小さいことから、バッテリーは充電可能な二次電池が望ましく、金属/水素二次電池やリチウム系二次電池の研究開発が行われている。

【参考資料】 (11)

マイクロテレオペレーション

【Micro-teleoperation】

【定義】 微小なロボットを遠隔操作（テレオペレーション）する技術。

【解説】 人間が微小なロボットに指令を下して微細作業を実施させるシステムが、マイクロテレオペレーションシステムである。実際にその場に居ないのに、あたかもその場に居るように遠隔から操作するこの技術は、精密な操作が必要な遺伝子操作、細胞操作、マイクロサージェリー（microscopic surgery, microsurgery）だけでなく、従来の機械では実行不可能な微細領域における検査や補修等の微細作業にも、有効な技術である。テレオペレーションシステムの操作性はアーム制御方式に大きく依存する。そのため、マイクロテレオペレーションシステムに特有なアーム制御方式の開発が望まれている。特に、人間の世界とは力学的挙動が異なる微細領域の世界の物体を操作する際には、人間の世界と同等の感覚を持って遠隔操作するための制御技術が必要になる。

【参考資料】 (4)

シリコンプロセス 【Silicon process】

【定義】 シリコンを材料として使用する超精密加工技術の総称。

【解説】 表面微細加工とバルク微細加工に大別されるが、それらの工程はほぼ共通であり、薄膜積層工程、パターン作成工程、微細組立、アニール、および被覆といった流れになる。加工技術として蒸着、拡散、化学腐食、リソグラフィ等の多くの技術を複合させて用いる。大きなウエハ上にバッチ処理で大量に部品を作ることができるのが特徴である。

【参考資料】 (5)(6)

バルク微細加工 【Bulk micromachining】

【定義】 基板そのものの一部を除去加工する技術。

【解説】 バルク微細加工の一例として、化学的溶液の腐食作用によって基板の不要な部分を除去する加工方法がある。材料を残したい部分にはSiO₂やSi₃N₄のマスクを施しておくことと表面からの腐食が進まない。また、ホウ素を注入した層を設けておくこと、その部分で腐食を停止させることができる。最近では、シリコンフェージョンボンディングにより、より複雑な構造もできるようになってきている。

【参考資料】 (3)(6)

表面微細加工 【Surface micromachining】

【定義】 基板表面で種々の物質を種々の微細形状に形成する加工技術。

【解説】 一例として、化学蒸着（CVD）を応用して種々の薄膜を基板上に形成し、マスクにより選択的な除去を行うことで、可動部分などの構造を作るための加工方法がある。ここで、一度堆積させたのち溶かし去る層を犠牲層という。代表的な犠牲層材料はphosphosilicate glass（PSG）である。この加工を応用して梁、ベアリング、リンクなどが作られる。【参考資料】 (3)(6)

LIGAプロセス 【LIGA process】

【定義】 Lithographie Galvanoformung und Abformungの略で、リソグラフィ、電鍍、モールドイングを意味するドイツ語の頭文字をとって名付けられた。

【解説】 この技術はドイツのカールスルーエ原子核研究所で開発された。X線を使った深いリソグラフィと電鍍で高アスペクト比の微細構造をつくる方法だが、場合によっては、電気メッキでつくった金属構造体を型として、さらにプラスチックモールドイングが行われる。特徴として、線幅1～10 μ m、高さ数100 μ m程度の高アスペクト比の微細構造体が、一括して大量に生産でき、また、プラスチック、金属、セラミックスといった多様な材料を選択できることやシリコン半導体素子などと組み合わせることが可能といったことが挙げられる。

【参考資料】 (1)(2)(3)(8)

イオンビーム加工 【Ion beam machining】

【定義】 加速されたイオンビームによるスパッタリング作用によって加工する技術。

【解説】 イオン源で発生したイオンを加速しながら反応室に導き、このイオンビームのスパッタリング作用によって除去および付加加工を行う。イオン

の入射方向に沿った加工が可能になるため、試料とイオンの入射角を調整することによって、任意性の高い三次元形状ができる。また、ビーム径をサブ μ mオーダまで絞ると、極微細な加工が行えるようになる。イオン源としてはArが一般的であるが、加工対象の原子量に依存してスパッタ率（除去原子数/衝撃イオン数）が変わってしまうため、Kr等も用いられる。【参考資料】 (4)(7)(8)

マイクロ機械加工 【Micromachining(1)】

【定義】 従来の機械加工技術を応用した微細部品の加工技術。

【解説】 マイクロ機械加工には、マイクロ切削研削加工、マイクロ塑性加工、マイクロ鍛造、マイクロ放電加工等がある。工具や工作機械を高精度・微細化することによって鏡面加工などの超精密加工や回折格子のような微細形状をつくることができる。この場合、工具としては微細かつ鋭利な形状を製作し易い単結晶ダイヤモンドが多用される。

【参考資料】 (6)

マイクロ放電加工 【Micro-electro-discharge machining】

【定義】 微小工具電極と加工対象の間の放電を利用した微細加工技術。

【解説】 従来の放電加工と原理は同様であるが、微小エネルギー放電技術と微小工具電極の作成が異なる。すなわち電極と加工対象との間の浮遊容量を小さくする必要があり、工具もワイヤ放電研削加工（WEDG）等の方法で微細にする必要がある。WEDG法では直径2.5 μ mの電極も成形可能であり、微細穴の加工が可能となる。【参考資料】 (4)

拡散接合 【Diffusion bonding】

【定義】 材料同士を融点以下の温度に加熱、加圧密着させ、互いの原子の相互拡散により固相のまま接合する方法。

【解説】 固相で接合できるので熔融接合に比べて精度の高い接合を行うことができる。主に金属同士やセラミックスと金属の接合に用いられる。異種材料の接合においては、接合後の冷却時に互いの熱膨張係数が異なるために、熱応力が発生する。これに起因するクラックの発生を回避するための、熱応力緩和方法が主な研究課題である。緩和方法としては、両方の材料のほぼ中間の熱膨張係数を有する材料や変形しやすい材料を間にサンドイッチする方法などがとられている。熱膨張係数が厚さ方向に徐々に変化する材料（傾斜機能材料）を中間にはさむ方法も盛んに研究されている。【参考資料】 (1)

第7回(平成11年度)マイクロマシン技術に関する 研究助成 課題応募の締切り迫る

財団法人マイクロマシンセンターは、通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」を新エネルギー・産業技術総合開発機構より受託し、その研究開発を進めると共に、自主事業として、マイクロマシン技術に関する各種の調査研究や普及啓発事業を行っております。

この自主事業の一環として、本年度もマイクロマシン技術に関する基礎的研究課題に対して研究助成を行っていますので、下記の要領をご参照の上、ふるってご応募下さい。

記

1. 研究助成の対象

マイクロマシンの基盤技術、機能要素技術、システム化技術に関する基礎的研究。

2. 研究期間

テーマA：平成12年4月～平成13年3月31日までの1年間

テーマB：平成12年4月～平成14年3月31日までの2年間

3. 課題募集期間と課題決定及び助成金交付時期

募集期間：平成11年7月12日～10月31日

決定時期：平成12年3月上旬

助成金の交付：平成12年3月下旬

4. 応募方法

応募用紙の請求は、下記財団法人マイクロマシンセンターへ送付先を明記のうえ、FAXにて請求して下さい。(FAX No.03-5294-7137)

5. 応募資格

下記の学協会等に所属する大学教員(教授、助教授、講師、及び助手)

インテリジェント材料フォーラム、(社)応用物理学会、(社)計測自動制御学会、(社)高分子学会、次世代センサ協議会、(社)精密工学会、(社)電気学会、(社)日本エム・イー学会、(社)日本機械学会、日本人工臓器学会、日本生物物理学会、日本DD S学会、日本バイオマテリアル学会、(社)日本ロボット学会、(社)パーソナルコンピューターユーザ利用技術協会、マイクロマシン研究会、マイクロメカトロニクス研究会

〈以上五十音順〉

6. その他

(1) 助成金総額：1,500万円程度

(1件につき、テーマAは200万円、テーマBは300万円を限度とする)

(2) 本事業は、産学交流の促進を目的の一つとしているため、助成の決定後、マイクロマシンセンターの賛助会員企業等との共同研究をお願いすることがあります。

(3) 問合せ先：財団法人マイクロマシンセンター研究部(担当：程野)Email:hodono@mmc.or.jp

〒101-0048東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル5階

TEL：03-5294-7131

FAX：03-5294-7137

表紙のことは：マイクロマシン絵画コンテスト入賞作品：上から、マイクロマシンを作るマイクロマシン、あればいいな、字を大きくするマシン、マイクロサッカー大会

編集後記

景気が少しづつ良くなってきているようですが、まだ暗いニュースが多いなか、マイクロマシンがマスコミから注目を集め、元気に明るいニュースを提供しています。21世紀の産業の基幹技術としての可能性に対し、産業界から一般の人々までに大きな感動を与えていることはうれしい限りです。これも皆様の努力の結果は言うにおよばず、本質的にマイクロマシンが持っている技術の魅力からだと思います。

さて、本号では平成10年度基礎技術の研究結果の報告、フランス、イタリア、スペインで開催された欧州セミナー・ミッションの報告を中心にマイクロマシンシンポジウムの予告等について紹介しています。

本年度のマイクロマシン展では、産技プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」が産業技術審議会評価委員会のプレ最終評価を受けます。そのため今までの研究成果を一同に展示することになると思います。評価委員会の委員の方には勿論のこと、多くの来場者の目に触れどのような反響があるのか今から楽しみにしています。

発行 財団法人マイクロマシンセンター

発行人 平野 隆之

〒101-0048 東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル5階

TEL.03-5294-7131 FAX.03-5294-7137

wwwホームページ：http://www.ijnet.or.jp/MMC/